

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-229823

(43)Date of publication of application : 19.08.1992

(51)Int.Cl.

G02F 1/015  
H01S 3/18

(21)Application number : 03-131620

(71)Applicant : AMERICAN TELEPH & TELEGR CO  
<ATT>

(22)Date of filing : 08.05.1991

(72)Inventor : CUNNINGHAM JOHN E  
GOOSSEN KEITH W  
JAN WILLIAM Y

(30)Priority

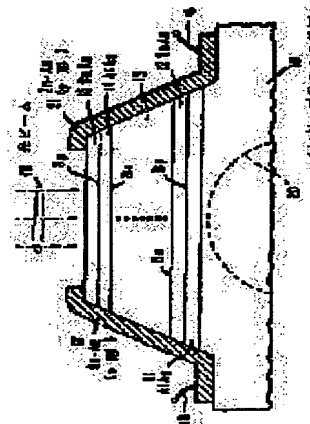
Priority number : 90 526084 Priority date : 18.05.1990 Priority country : US

## (54) SEMICONDUCTOR DEVICE

## (57)Abstract:

PURPOSE: To enable low-voltage operation by forming an optical modulator in periodic semiconductor heterostructure constituted by laminating dopant layers which are changed in conduction time by turns across heterointerfaces.

CONSTITUTION: A semiconductor mirror is formed by laminating 11 and 12 and growing two semiconductor materials which have different refractive indexes each to a thickness of wavelength that is about  $1/4$  as large as specific wavelength. On each heterointerface, delta doping is performed. This delta doping is alternated in conduction type by the heterointerfaces. On one edge 17 of the mirror, flank contact for an n type heterointerface  $\delta n$  is selectively formed on the other edge 21, flank contact for a p type heterointerface  $\delta p$  is formed. Therefore, the modulator is formed in interleaved ohmic contact structure. Refractive index variation can be caused only by applying an ordinary low voltage to the flank contact and the mirror can reflect or transmit an incident light beam 19.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

BEST AVAILABLE COPY

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平4-229823

(43)公開日 平成4年(1992)8月19日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 1/015	5 0 5	8106-2K		
H 0 1 S 3/18		9170-4M		

審査請求 未請求 請求項の数9(全 5 頁)

(21)出願番号	特願平3-131620	(71)出願人	390035493 アメリカン テレフオン アンド テレグ ラフ カムパニー AMERICAN TELEPHONE AND TELEGPAPH COMPA NY アメリカ合衆国、ニューヨーク、ニューヨ ーク、マディソン アヴェニュー 550
(22)出願日	平成3年(1991)5月8日	(72)発明者	ジョン イー. カニンガム アメリカ合衆国 07738 ニュージャージ イ、リンクロフト、ネビール ドライブ 21
(31)優先権主張番号	5 2 6 0 8 4	(74)代理人	弁理士 三俣 弘文
(32)優先日	1990年5月18日		
(33)優先権主張国	米国 (US)		

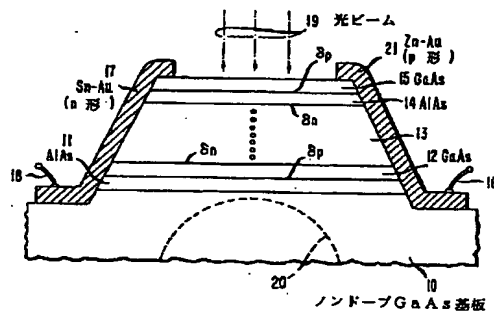
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体装置

(57)【要約】

【目的】 低電圧で複数半導体層の屈折率を変化させ、入射光の反射又は透過を行う半導体装置を提供する。

【構成】 半導体光変調器において、屈折率の異なる2つの半導体材料を交互に順次積層成長させ、各層をある所定波長に対する約1/4波長の厚さにして半導体ミラーを形成する。各ヘテロ界面ではデルタドーピングが行われる。このデルタドーピングの導電形はヘテロ界面ごとに交替する。前記ミラーの一方のエッジ上にはn形ヘテロ界面に対する、他方のエッジ上にはp形ヘテロ界面に対する側面接触が選択的に形成される。その結果、インターリーブ・オーミック接触構造が変調器内に形成される。前記側面接触に通常の高電圧を印加するだけで、屈折率変化を引き起こすことが可能であり、その結果前記ミラーは入射光ビームを反射又は透過させることができる。



BEST AVAILABLE COPY

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の半導体層ペアを有し、該半導体層の各ペアは第1屈折率を有する第1半導体層、第1デルタドーピング層、第2屈折率を有する第2半導体層、および第2デルタドーピング層からなり、前記第1屈折率は前記第2屈折率とは異なり、前記第1デルタドーピング層は前記第2デルタドーピング層と反対の導電形を有する、メサ形成された半導体装置において、前記メサの側面上に形成された第1及び第2の接触層を有し、前記第1接触層は前記第1デルタドーピング層と類似の導電形のドーパント材料を含み、各ペアにおける第1接触層と前記第1デルタドーピング層との間にオーミック接触を形成し、前記第2接触層は前記第2デルタドーピング層と類似の導電形のドーパント材料を含み、各ペアにおける第2接触層と前記第2デルタドーピング層との間にオーミック接触を形成する、ことを特徴とする半導体装置。

【請求項2】 前記第1及び第2半導体層に垂直に電界が印加されるように、前記第1デルタドーピング層への第1電気接触が形成され、前記第2デルタドーピング層への第2電気接触が形成されたことを特徴とする請求項1記載の半導体装置。

【請求項3】 前記第1半導体層は第1層厚及び第1屈折率を有し、該第1層厚と第1屈折率との積が $1/4$ とある所定波長との積に等しく、前記第2半導体層は第2層厚及び第2屈折率を有し、該第2層厚と第2屈折率との積が $1/4$ と前記所定波長との積に等しい、ことを特徴とする請求項1記載の半導体装置。

【請求項4】 前記第1半導体層の層平面に実質的に垂直に光ビームを方向付ける手段を更に有することを特徴とする請求項1記載の半導体装置。

【請求項5】 前記光ビームは、前記所定波長に近い波長を有することを特徴とする請求項4記載の半導体装置。

【請求項6】 前記第1及び第2半導体層はIII-V族半導体系から選択された半導体材料よりなることを特徴とする請求項1記載の半導体装置。

【請求項7】 前記第1及び第2半導体層はGaAlAs系から選択された化合物よりなることを特徴とする請求項6記載の半導体装置。

【請求項8】 前記第1及び第2半導体層はInGaAlAs系から選択された化合物よりなることを特徴とする請求項6記載の半導体装置。

【請求項9】 前記第1及び第2半導体層はInGaAsP系から選択された化合物よりなることを特徴とする請求項6記載の半導体装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は半導体装置に係り、特に屈折率変化を用いて光ビームを変調する半導体装置に関

(2)

特開平4-229823

2

する。

【0002】

【従来の技術】 光コンピューティング、光スイッチング及び光相互接続の3つの分野では、光ビームの変調を必要としている。光コンピューティング及び光相互接続の分野では、その表面と垂直な方向に伝播する光ビームに影響を与える半導体デバイス及びアレイの出現により関心が高まっている。このようなデバイスは、一般に“サーフィス・ノーマル”(surface-normal: 表面垂直)デバイスと呼ばれている。表面垂直デバイスへの関心が高いのは、このデバイスがコンパクトでアレイ製造が可能となるからであり、またこのデバイスへの及びこのデバイスからの光結合が簡便な方法で行えるからである。

【0003】 最近バラエティに富んだ表面垂直光変調器が出現している。最初の表面垂直光変調器の中には、半導体量子井戸の電気吸収効果(electroabsorption)に基づくものがあった。即ち、その半導体量子井戸材料の光学的吸収係数を電氣的に変化させることによって、その変調器の表面を照射する光ビームが半導体量子井戸によって吸収され、または大きな吸収なしにその変調器を透過させる。その結果、変調器からの出力する光信号は、その変調器に入力する電気信号の光バージョンとなる。半導体量子井戸材料を用いた電気吸収効果の原理に基づいた高速表面垂直光変調器の一例は、米国特許第4,525,687号に開示されている。

【0004】 電気吸収効果を用いた変調器が温度に敏感であることは、デバイス及びシステム設計にとってある程度マイナスである。これらの変調器が光ビームを吸収するとき、吸収過程によって変調器は熱力学的効果を生ずる。このことは半導体量子井戸電気吸収効果変調器にとって特に都合が悪い。なぜならば光ビームの波長は量子井戸材料の吸収バンド端近くの波長に調整されるからである。吸収バンド端は温度変化にきわめて敏感である。吸収過程によって変調器が熱を持つことは、半導体量子井戸材料での吸収バンド端のシフトを引き起こし、光ビームの波長が変調器の吸収バンド端と一致しなくなる。その結果、変調器は光ビームを変調することができなくなる。

【0005】 他の問題は、吸収によって生ずる変調器の電気キャリアの発生である。電気キャリアは印加電界を遮る傾向があるために、キャリア密度が十分に高いレベルに達すると変調が停止してしまう。また、キャリア発生は半導体材料の光吸収係数を低下させる傾向もある。このことが半導体電気吸収効果変調器の低輝度光ビームへの応用を制限している。

【0006】 このような電気吸収効果変調器に対して、光変調器は光ビームの透過を制御するために半導体材料の屈折率変化を利用するように設計されている。これらのデバイスは光吸収過程を必要としないことから、電気吸収効果変調器の上記問題は回避される。屈折率変化を

3

用いた光変調器は入射光ビームを吸収しない。そのために変調過程において熱的及び電氣的効果は回避され、高輝度変調が可能となる。さらに、変調器が透過及び反射の状態間でスイッチされるために、屈折率変化を用いた変調器の方がシステム構築に有利であることが分かる。この変調器において光ビームの損失は実際上存在しない。従って、屈折率変化を採用した変調器は、2個の検出器によって読むことが可能となる。即ち、反射光信号を測定する検出器と透過光信号を測定する他の検出器とであり、そのことがシステムの融通性を向上させることにもなる。

【0007】屈折率変化を採用した表面垂直変調器を実現しようとする従来の試みは、十分な成功が得られたとはいえない。変調の深さが、第1近似で、半導体材料の屈折率変化とその厚さとの積に比例するからである。屈折率変化は、半導体材料の選択とそれに印加される電界の大きさに依存する。入手できる技術論文から、このような屈折率変調器に一般に用いられる半導体材料の厚さは、同じ変調能力を有する吸収形変調器の半導体材料の厚さより5〜10倍厚いことが分かる。

【0008】典型的な半導体屈折率変調器は、応用物理レターズ、第51巻、No. 23, p. 1876-8 (1987) 及び同じく第53巻、No. 8, p. 637-9 (1988) に開示されている。実際には、表面垂直変調器の半導体層に対して垂直方向に制御電界をかけることが望ましい。その際、表面垂直屈折率変調器に対する印加電圧は表面垂直電気吸収効果形変調器が同程度の変調能力を発揮するときの印加電圧に比べてかなり高いことが報告されている。

【0009】上記1987年の論文に記載された屈折率変調器は、GaAsおよびAlAsの半導体層が30周期積層された誘電体ミラーから構成される。これら30周期の半導体層の各々の厚さは、その各々の屈折率の4倍で除された所定波長の値に等しい。このようなミラーは前記所定波長近傍のある範囲の波長光に対して高い反射率を有する。しかし、この波長範囲の端で変調器は突然に透過状態となる。このミラーの挟む接触部を通して、その半導体層に垂直に電界が印加される。この電界印加によってGaAs層の屈折率変化が引き起こされ、それがミラーの反射特性をわずかにシフトさせる。ミラーの反射波長範囲の端近傍に波長調整された光ビームは、ミラーの反射特性のシフトによって変調される。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来のデバイスにおいて適度な変調を得ようとするれば、50〜100Vオーダーの印加電圧で動作させる必要があった。このような印加電圧はあまりに高圧であり、光コンビューティング及び光相互接続を実現する上での問題となっていた。

【0011】

(3)

特開平4-229823

4

【課題を解決するための手段】本発明は光変調器が導電形を交互に変化させたドーバント層をヘテロ界面で積層した周期的半導体ヘテロ構造として実現され、本発明による屈折率変化形光変調器において低電圧動作が達成される。側面ドーブ接触層は変調器ヘテロ構造の各側面上に形成される。各側面ドーブ接触層は、同じ導電形の全てのドーバント層と選択的に接触し、変調器ヘテロ構造内でインターリーブ接触構造を形成する。これによって、接触層を介して印加された電圧は周期的半導体ヘテロ構造の各層にわたって等しく現れ、それにより所望電界強度を得るのに必要な電圧を大きく低下させることができる。

【0012】本発明の一実施例における変調器は、GaAs及びAlAs半導体層の周期的構造を用いて実現される。ドーバント層はヘテロ界面での標準的デルタドーピング技術を用いて形成され、導電形をp形からn形の間で交互に変化させる。

【0013】他の実施例における変調器は、同じ印加電界に対してより大きな屈折率変化を達成するために、狭バンドギャップ材料で量子井戸の採用された周期的構造において実現される。

【0014】本発明の原理にしたがって表面垂直半導体光変調器が実現される。この変調器は低電圧で動作する利点がある。即ち、低電圧で半導体材料の屈折率の変化を引き起こし、それによって照射光ビームを変調する。本変調器は入射光ビームを吸収しないから、不都合な熱的及び電氣的効果を回避できる。

【0015】本発明による半導体光変調器において、異なる屈折率を有する2つの半導体材料を交互に順次積層成長させ、各層がある所定波長の約1/4の厚さを有する周期的構造の半導体ミラーを形成する。その際、デルタドーブ層が各ヘテロ界面に挿入される。各デルタドーブ層の導電形は1つのヘテロ界面から次の界面へ交互になる。側面オーミック接触層は、半導体ヘテロ構造のn形デルタドーブ層に対して一方のエッジに沿って選択的に形成され、p形デルタドーブ層に対して他方のエッジに沿って選択的に形成される。インターリーブオーミック接触層構造は変調器内に形成される。通常低電圧を側面接触層に印加することによって、それらの層で屈折率変化が生じ、そのミラーは照射光ビームの反射及び透過による変調動作を行う。

【0016】デルタドーピングは“原子層ドーピング”という用語と同義である。デルタドーピング層については実施例において説明されるが、半導体材料の薄い高ドーブ層はデルタドーブ層に置き換えてもよい。薄い高ドーブ層はドーバント原子の単一層より厚いと考えられる。

【0017】変調器は標準的なエピタキシャルプロセス技術、例えば分子線エピタキシー及び有機金属化学気相成長のような気相エピタキシーなどにより製造される。

5

本発明によるデバイスを実現するための半導体層成長、不純物ドーピング、原子層又はデルタ不純物ドーピング、フォトリソグラフィ及び接触金属形成を含む製造技術は、当業者に周知である。

【0018】

【実施例】図1は、本発明による半導体変調器構造の一実施例を示す模式的断面構成図である。本実施例の変調器は波長 $\lambda_s$ の入射光ビーム19を変調する。本実施例の特定構造及び組成において、光ビーム19の波長 $\lambda_s$ は1.06 $\mu\text{m}$ に選定される。本実施例の構造はノンドープGaAs基板10上にエピタキシャル成長によって形成される。半導体層の周期的積層によって誘電体ミラーが形成される。この周期的積層は、広いバンドギャップ層11、ドーパント層 $\delta p$ 、狭いバンドギャップ層12、及びドーパント層 $\delta n$ の一連のペア層で構成される。層11はAlAs、層 $\delta p$ はBe, Mg, C, Zn及びGe等のp形ドーパント材料、層 $\delta n$ はSi, Sn, Se, 及びS等のn形ドーパント材料である。領域13は上記一連のペア層が複数周期的に積層されて構成される。層14及び15は、この周期的積層の最終ペアの層である。層14は、その下に $\delta n$ 層、その上に $\delta p$ 層を伴う広いバンドギャップ層である。層15は狭いバンドギャップ層である。

【0019】反射効果を制御した層15を保護するために、反射防止コーティングを設けも良い。反射コーティング材料の使用は自由であるから図示されていない。反射は層15の膜厚を慎重に選ぶことによって制御される。実験例からすれば、層15の厚さは900Å（オングストローム）に選定され、それは周期的に積層された狭いバンドギャップ層の厚さより若干厚くなっている。図1に示す構造において、広いバンドギャップ層は約835Åの厚さを有し、狭いバンドギャップ層は約715Åの厚さを有する。30周期のペア層が基板10上に成長されている。各ドーピング層は、約 $10^{13}\text{cm}^{-2}$ のキャリア密度を生じるように堆積される。

【0020】ヘテロ構造を成長させた後、エッチングによってメサ構造を実現する。一例としてメサ構造の寸法は約200 $\mu\text{m}$ 平方である。このメサ構造を実現するには、標準的なフォトリソグラフィ及びエッチング技術が適している。実験において、 $\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_3\text{PO}_4$ が64:20:16の溶液を用いて、図1に示すような外側に広がった側面エッジを有するメサ構造を形成した。

【0021】ドーピング層へのオーミック接触を取るために、メサ構造の側面エッジ上に通常の選択的ドーピング接触部が堆積される。特に、接触部21は層 $\delta p$ とオーミック接触し、接触部17は層 $\delta n$ とオーミック接触する。リード線16及び18は、それぞれ接触部21及び17でこの変調器に電圧を印加するためのものである。実験例において、p形接触部は亜鉛のようなp形ド

(4)

特開平4-229823

6

ーバントでドーパされた金のような金属を用いて製造される。n形接触部はスズのようなn形ドーパントでドーパされた金のような金属を用い、同様の方法で製造される。接触部17及び21の製造には標準的な金属堆積技術が用いられる。そして、適当な時間及び温度（例えば440℃で1分間）で合金化（アロイング）を行い、ドーパ層の選択的接触を達成する。接触部21に接した領域では、層 $\delta p$ が接触部21とオーミック接触を形成し、層 $\delta n$ は接触部21とpn接触を形成する。接触部17に接した領域では、層 $\delta n$ が接触部17とオーミック接触を形成し、層 $\delta p$ は接触部17とpn接触を形成する。

【0022】図2は、実質的ゼロバイアス下での本実施例のエネルギーバンド図である。図2において、各層の厚さは、その層を構成する半導体材料の屈折率の4倍で除された所定波長の関数で決定される。この所定波長 $\lambda$ は光ビーム19の波長より短く選定されることが望ましい。しかしながら、光ビーム19は周期的積層の層厚を設計する際に用いられる所定波長より短い波長を示すことは考えられる。

【0023】図3は、2つの異なる電圧に応じた本実施例の反射特性のシフトによる波長に対する微分透過特性を示すグラフである。微分透過特性は、印加電圧1(V)および-1(V)に応じた変調器の反射特性のシフトにより生じる。このデバイスでは、波長1.0585 $\mu\text{m}$ で最大の相対透過変化率（約16%）が生じている。微分透過式の分子で定義される透過率の最大変化は波長1.06 $\mu\text{m}$ で4.6%であった。

【0024】ある印加電界に対する屈折率の変化量を増大させるために、量子井戸は周期的積層の各ペアの狭いバンドギャップ層に含まれても良い。図4には多重量子井戸構造が示されており、そこでは量子井戸が広いバンドギャップ層（AlGaAs）により分離されたGaAs層によって形成されている。図4に示す構造において、狭いバンドギャップ量子井戸は約92Åの厚さを有し、広いバンドギャップバリア層は約35Åの厚さを有している。

【0025】本発明による変調器の基本的特徴は接触部へ印加された電圧が各周期層にわたって同一に現れることである。従って、光ビームを変調するに十分な屈折率変化を生じさせる電界強度は、従来の構造に比べてはるかに小さい電圧で達成できる。

【0026】なお、半導体ヘテロ構造を製造するために、本実施例ではGaAs/AlAs材料系を用いたが、GaAs/AlGaAs、InGaAs/InAlAs、InGaAs/InGaAlAs、GaAsSb/GaAlAsSb、およびInGaAsP/InP等のIII-V族半導体系から選択された材料でも良い。これらの半導体系において、それらの層にはGaAsまたはInP基板が格子整合し適している。ひずみ層が基

7

板材料上に成長すると、非整合も考えられる。また、本発明によるデバイス構造をⅢ-Ⅴ族およびⅣ族の化合物半導体まで拡張することも考えられる。

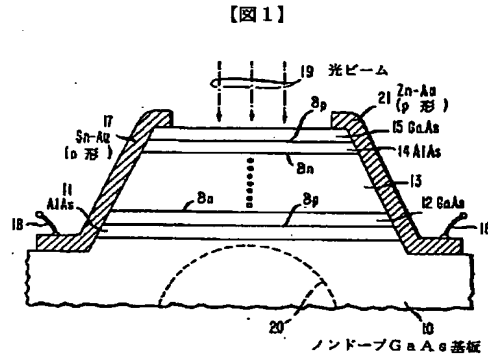
【0027】なお、図1において、より効率的に変調器を通して光を透過させるために、基板に浅い凹部20をエッチング形成することが望ましい。

【0028】

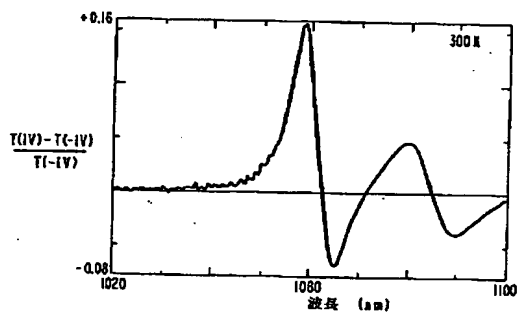
【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明による半導体装置は低電圧で十分な屈折率変化を得ることができ、入射光を反射又は透過させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による半導体変調器構造の一実施例を示



【図3】



8

特開平4-229823

す模式的断面構成図である。

【図2】実質的ゼロバイアス下での本実施例のエネルギーバンド図である。

【図3】2つの異なる電圧に応じた本実施例の反射特性のシフトによる波長に対する微分透過特性を示すグラフである。

【図4】実質的ゼロバイアス下での他の実施例のエネルギーバンド図である。

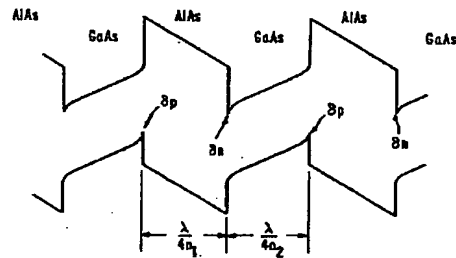
【符号の説明】

10 ノンドープGaAs基板

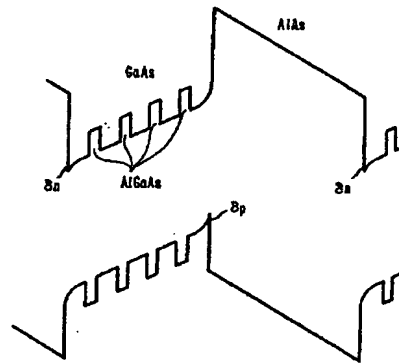
17、21 接触部

19 光ビーム

【図2】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 キース ダブリュ. グーセン  
アメリカ合衆国 07747 ニュージャージー  
イ、アバディーン、デボラ レーン 18

(72)発明者 ウィリアム ワイ. ジャン  
アメリカ合衆国 07076 ニュージャージー  
イ、スコッチ プレインズ、ゲリー コー  
ト 1